饲粮精氨酸添加水平对冬毛期雌性蓝狐生产性能、营养物质消化率及氮代谢的影响

孙皓然[1]　张铁涛[1]　王晓旭[1]　刘　志[2]　樊燕燕[1]　张　婷[1]　李光玉[1*]

（1.中国农业科学院特产研究所，吉林省特种经济动物分子生物学省部共建重点实验室，长春 130112；2.中国农业科学院饲料研究所，北京 100081）

摘　要：本试验旨在研究饲粮精氨酸添加水平对冬毛期雌性蓝狐生产性能、营养物质消化率及氮代谢的影响。选取 120 日龄、体重相近的 60 只健康雌性蓝狐，随机分为 6 组，每组 10 个重复，每个重复 1 只。各组饲粮精氨酸添加水平分别为 0(对照组)、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%和 1.0%，预试期 7 d，正试期 80 d。结果表明：1）0.6%添加组蓝狐的平均日增重极显著高于其他各组（$P<0.01$），体长和皮长较对照组分别提高了 1.42%和 1.26%（$P>0.05$），料重比极显著低于对照组（$P<0.01$）；0.4%添加组蓝狐平均日采食量显著低于对照组（$P<0.05$）。2）饲粮精氨酸添加水平极显著影响蓝狐脂肪消化率（$P<0.01$），各组蓝狐脂肪消化率随着饲粮精氨酸添加水平的升高而提高；0.6%添加组干物质消化率极显著高于对照组和 0.2%、0.4%添加组（$P<0.01$），饲粮精氨酸添加水平对蓝狐蛋白质消化率和碳水化合物消化率无显著影响（$P>0.05$）。3）0.4%添加组蓝狐食入氮显著低于除 0.6%添加组外其他各组（$P<0.05$）；0.6%添加组粪氮和尿氮含量均最低，而氮沉积、净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值和蛋白质效率比均最高。综合各项指标，冬毛期雌性蓝狐饲粮中添加 0.6%精氨酸（饲粮总精氨酸水平为 2.04%）可提高平均日增重，降低料重比。

关键词：精氨酸；蓝狐；冬毛期；生产性能；营养物质消化率；氮代谢

中图分类号：S815.1　　　　文献标识码：　　　　　　文章编号：

在大多数哺乳动物的研究中，精氨酸被认为是一种半必需氨基酸或条件性必需氨基酸，当动物

收稿日期：2015-11-04

基金项目：中国农业科学院科技创新工程；吉林省特种经济动物营养与生理研究创新团队项目（20121810）

作者简介：孙皓然（1990—），男，河北唐山人，硕士研究生，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: solomoncat@163.com

*通信作者：李光玉，研究员，博士生导师，E-mail: tcslgy@126.com

处于幼龄或疾病时需要饲粮额外补充[1]。精氨酸广泛存在于肉类食物中。对食肉目动物而言，精氨酸是一种必需氨基酸，饲粮中含有充足的精氨酸才能保证肉食性动物的正常生长发育[2]。蓝狐是一种肉食性毛皮动物，其饲粮具有高蛋白质、高脂肪的特点，动物性饲粮所占比例较高[3]。前人对蓝狐各时期蛋白质营养需要进行了深入研究并应用于养殖环节，而生产过程中往往忽视饲粮氨基酸平衡问题，某些必需氨基酸补充不足或过量会导致饲粮中蛋白质无法有效吸收利用，甚至引起体内代谢紊乱而阻碍动物生产性能的充分发挥。在对其他哺乳动物及人类精氨酸营养的研究中发现，胎儿或幼龄动物精氨酸摄入不足会造成生长受阻[4]，易出现高血氨症[5]。成年哺乳动物缺乏精氨酸则会影响繁殖功能[6-7]。同时，精氨酸也可提高动物免疫力[8]。此外，Czarnecki 等[9]在犬科动物的研究中发现，成年犬进食无精氨酸饲粮后会出现乳清酸血症，血氨水平升高。NRC（1982）[10]狐貂营养需求标准中指出，精氨酸在毛皮动物的皮毛发育过程中起着至关重要的作用，并可能影响后期毛皮品质。前期研究则表明，育成期雌性蓝狐基础饲粮中补充精氨酸可以提高蓝狐平均日增重，降低料重比[11]。由此可见，蓝狐精氨酸营养的研究对蓝狐的正常发育、健康生长及毛皮品质的改善存在重要意义。然而，近年来以蓝狐作为试验动物进行各生长时期精氨酸营养需要量的研究仍鲜有报道，且国内外均未明确给出蓝狐干粉饲粮中精氨酸的适宜水平。因此，本试验通过在冬毛期蓝狐饲粮中添加不同水平的精氨酸，研究饲粮精氨酸添加水平对雌性蓝狐生产性能、营养物质消化率和氮代谢的影响，初步探讨精氨酸对蓝狐的营养作用，为精氨酸在干粉饲粮中的合理应用和完善我国蓝狐饲养标准提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计与饲养管理

选取 60 只 120 日龄健康雌性本地改良品种蓝狐，随机分成 6 组，每组 10 个重复，每个重复 1 只，各重复之间初始体重差异不显著（$P>0.05$）。试验采用单因素随机试验设计，在基础饲粮中各组的精氨酸添加水平分别为 0（I组）、0.2%（II组）、0.4%（III组）、0.6%（IV组）、0.8%（V组）和 1.0%（VI组）。预试期 7 d，正试期 80 d。试验全程在室外自然光照条件下进行，由专人饲喂。

采用单笼饲养，每天早晚各饲喂 1 次，自由饮水。参考 NRC（1982）[10]狐貂营养需求标准配制的基础饲粮组成及营养水平见表 1。本试验所用 *L*-精氨酸由无锡晶海氨基酸有限公司生产，含量≥99.0%。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
膨化玉米 Extrusion corn	40.70
豆粕 Soybean meal	19.00
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	4.00
肉骨粉 Bone meat meal	11.50
鱼粉 Fish meal	10.00
豆油 Soybean oil	12.50
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.20
食盐 NaCl	0.30
L-赖氨酸 *L*-Lys	0.50
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.30
预混料 Premix1)	1.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels2)	
代谢能 ME/(MJ/kg)2)	17.70
粗蛋白质 CP	28.75
粗脂肪 EE	14.51
粗灰分 Ash	8.35

钙 Ca	1.36
总磷 TP	0.80
赖氨酸 Lys	1.16
蛋氨酸 Met	0.72
精氨酸 Arg	1.44

1)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 10 000 IU，VD_3 2 500 IU，VE 220 mg，VK_3 0.5 mg，VB_1 4 mg，VB_2 5 mg，VB_6 2 mg，VB_{12} 0.042 mg，叶酸 folic acid 0.5 mg，泛酸 pantothenic acid 22 mg，生物素 biotin 16 mg，氯化胆碱 choline chloride 1.2 mg，VC 120 mg，Fe (as ferrous sulfate) 140 mg，Zn (as zinc sulfate) 32 mg，Mn (as manganese sulfate) 16 mg，I (as potassium iodide) 0.8 mg，Se (as sodium selenite) 0.12 mg，Cu (as copper selenite) 5 mg。

2) 代谢能为计算值，其余为实测值。ME was a calculated value, while the others were measured values.

1.2　消化代谢试验

每组分别选取 7 只采食与排便正常的健康蓝狐，于试验第 29 天至第 32 天进行消化代谢试验。采用全收粪法连续 4 d 收集粪和尿，尿液收集前在收集桶内加入 10%硫酸溶液 20 mL 以固氮，4 d 内所收集尿样均匀混合经过滤后于-20 ℃保存备用；4 d 内所收集粪样经均匀混合后喷洒少量 10%硫酸溶液固氮，65 ℃烘干至恒重，将干粪样粉碎过 40 目筛，保存备用。

1.3　屠宰试验

饲养试验结束后，每组分别随机选取 7 只健康蓝狐实施安乐死，每只蓝狐肌肉注射 10 mg/mL 氯化琥珀胆碱 10 mL，确认死亡后取皮。

1.4　测定指标及方法

正试期开始后，每天观察试验蓝狐健康状况，记录饲喂量和剩料量，计算采食量，每隔 21 d 于早晨空腹称重，计算日增重。蓝狐处死后，由鼻尖到尾根测量其体长，取皮刮油后皮张上楦板由鼻

尖到尾根测量皮长。

饲料及粪样干物质含量采用 105 ℃烘干法，参照 GB/T 6435-2006 测定；粗蛋白质含量采用凯氏定氮法，参照 GB/T 6432-1994，使用福斯 Kjeltec 8400 型全自动凯氏定氮仪测定；粗脂肪含量采用索氏抽提法，参照 GB/T 6433-2006，使用步琦 B-811 型索氏抽提仪测定；粗灰分含量采用 550 ℃灼烧法，参照 GB/T 6438-1992 测定；氨基酸含量采用盐酸水解法，参照 GB/T 18246-2000，使用日立 L-8900 型氨基酸自动分析仪测定。本试验碳水化合物含量由计算求得[12]。

1.5　计算公式

料重比=干物质采食量（g）/平均日增重（g）；

碳水化合物总量=干物质总量－蛋白质总量－脂肪总量－灰分总量；

干物质消化率（%）=［（干物质采食量－粪中干物质总量）/干物质采食量］×100；

蛋白质消化率（%）=［（蛋白质摄入量－粪中蛋白质总量）/蛋白质摄入量］×100；

脂肪消化率（%）=［（脂肪摄入量－粪中脂肪总量）/脂肪摄入量］×100；

碳水化合物消化率（%）=［（碳水化合物摄入量－粪中碳水化合物总量）/碳水化合物摄入量］×100；

氮沉积（g/d）=食入氮－粪氮－尿氮；

净蛋白质利用率（%）=（氮沉积/食入氮）×100；

蛋白质生物学价值（%）=［氮沉积/（食入氮－粪氮）］×100；

蛋白质效率比=日增重（g）/食入氮（g）。

1.6　数据统计与分析

试验数据以平均值±标准差表示，数据使用 SPSS 21.0 软件进行单因素方差分析，多重比较采用 Duncan 氏法进行差异显著性检验，$P<0.01$ 为差异极显著，$P<0.05$ 为差异显著，$P>0.05$ 为差异不显著。

2　结　果

2.1 饲粮精氨酸添加水平对冬毛期雌性蓝狐生产性能的影响

由表 2 可知，饲粮添加 0.2%、0.4%、0.6%和 0.8%精氨酸提高了蓝狐末体重，添加 1.0%精氨酸降低了蓝狐末体重。0.6%添加组蓝狐平均日增重最高，且极显著高于其他各组（*P*＜0.01）；平均日采食量以 0.4%添加组最低，显著低于除 0.6%添加组的其他各组（*P*＜0.05）；料重比以 0.6%添加组最低，极显著低于除 0.4%添加组外其他各组（*P*＜0.01）。皮张品质方面，0.6%添加组蓝狐的体长和皮长最优，较对照组分别提高了 1.42%和 1.26%（*P*＞0.05）。

表 2　饲粮精氨酸添加水平对冬毛期雌性蓝狐生产性能的影响

Table 2　Effects of dietary arginine supplemental level on performance of female blue foxes during fur development period

项目 Items	组别 Groups I	II	III	IV	V	VI	*P* 值 *P*-value
初体重 IW/kg	4.10±0.25	4.10±0.33	4.07±0.27	4.08±0.21	4.10±0.32	4.07±0.38	0.999
末体重 FW/kg	6.19±0.28^{b}	6.23±0.47^{b}	6.36±0.42^{ab}	6.58±0.32^{a}	6.31±0.4^{ab}	6.12±0.28^{b}	0.041
平均日增重 ADG/g	26.08±2.54^{Cc}	26.56±2.24^{BCc}	28.69±2.33^{Bb}	31.21±2.25^{Aa}	27.60±1.48^{BCbc}	25.60±1.84^{Cd}	＜0.001
平均日采食量 ADFI/g	321.28±4.96^{a}	320.50±1.91^{a}	316.43±3.37^{b}	319.17±1.61^{ab}	319.78±3.61^{a}	319.72±1.74^{a}	0.039
料重比 F/G	11.98±1.04^{Aab}	11.97±0.92^{Aab}	10.67±0.60^{BCc}	10.28±0.88^{Cc}	11.65±0.77^{ABb}	12.54±0.36^{Aa}	＜0.001
体长	68.83±1.61^{ab}	69.00±1.00^{a}	69.19±0.60^{a}	69.81±0.78^{a}	69.19±1.27^{a}	67.81±1.05^{b}	0.014

Body length/cm							
皮长 Fur length/cm	101.86±1.05^{Aab}	102.14±2.76^{Aab}	102.14±0.78^{Aab}	103.14±4.04^{Aa}	100.00±1.50^{ABbc}	97.86±2.93^{Bc}	＜0.001

同行数据肩标相同字母或无字母表示差异不显著（*P*＞0.05），不同小写字母表示差异显著（*P*＜0.05），不同大写字母表示差异极显著（*P*＜0.01）。下表同。

In the same row, values with the same or no letter superscripts mean no significant difference (*P*＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*＜0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (*P*＜0.01). The same as below.

2.2　饲粮精氨酸添加水平对冬毛期雌性蓝狐营养物质消化率的影响

由表 3 可知，0.6%添加组干物质消化率最高，且极显著高于对照组和 0.2、0.4%添加组（*P*＜0.01）。饲粮精氨酸添加水平对蓝狐脂肪消化率存在极显著影响（*P*＜0.01），脂肪消化率随饲粮精氨酸添加水平的升高而提高，1.0%添加组蓝狐脂肪消化率较对照组提高了 3.97%（*P*＜0.01）。饲粮精氨酸添加水平对蓝狐蛋白质消化率和碳水化合物消化率无显著影响（*P*＞0.05）。

表 3　饲粮精氨酸添加水平对冬毛期雌性蓝狐营养物质消化率的影响

Table 3　Effects of dietary arginine supplemental level on nutrient digestibility of female blue foxes during fur development period

项目 Items	组别 Groups						*P* 值 *P*-value
	I	II	III	IV	V	VI	
干物质消化率 Dry matter digestibility/%	68.31±1.33^{Bb}	68.39±1.39^{Bb}	68.73±1.21^{Bb}	70.54±1.04^{Aa}	69.48±0.95^{ABab}	69.38±1.36^{ABab}	0.003
蛋白质消化率 Protein digestibility/%	73.40±1.49	74.18±1.27	74.71±2.07	75.63±1.12	74.48±1.56	73.77±1.64	0.063

脂肪消化率 Fat digestibility/%	88.48±0.90^{Cd}	90.43±0.69^{Bc}	91.27±0.0.52^{Ab}	91.36±0.47^{Ab}	91.42±0.44^{Aab}	91.99±0.41^{Aa}	＜0.001
碳水化合物消化率 Carbohydrate digestibility/%	63.14±2.44	61.95±2.52	61.91±1.97	64.77±1.74	62.46±3.01	62.82±1.87	0.110

2.3　饲粮精氨酸添加水平对冬毛期雌性蓝狐氮代谢的影响

由表 4 可知，在食入氮方面，0.4%添加组最低，且显著低于除 0.6%添加组外其他各组（*P*＜0.05）。0.6%添加组粪氮和尿氮含量均最低，0.6%添加组粪氮含量显著低于对照组（*P*＜0.05）。0.6%添加组蓝狐的氮沉积最高，较对照组提高了 13.57%（*P*＜0.05）。净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值和蛋白质效率比均以 0.6%添加组最高，1.0%添加组则最低。

表 4　饲粮精氨酸添加水平对冬毛期雌性蓝狐氮代谢的影响

Table 4　Effects of dietary arginine supplemental level on nitrogen metabolism of female blue foxes during fur development period

项目 Items	组别 Groups I	II	III	IV	V	VI	*P* 值 *P*-value
食入氮 Nitrogen intake/(g/d)	14.78±0.23^{a}	14.74±0.09^{a}	14.56±0.15^{b}	14.68±0.07^{ab}	14.71±0.17^{a}	14.71±0.08^{a}	0.039
粪氮 Fecal nitrogen/(g/d)	3.93±0.22^{a}	3.81±0.20^{ab}	3.68±0.32^{ab}	3.58±0.17^{b}	3.76±0.25^{ab}	3.86±0.23^{a}	0.043
尿氮 Urine nitrogen/(g/d)	6.27±0.47^{ABabc}	6.29±0.33^{ABabc}	6.01±0.37^{Bbc}	5.91±0.33^{Bc}	6.39±0.45^{ABab}	6.67±0.60^{Aa}	0.009
氮沉积 Nitrogen retention/(g/d)	4.57±0.49^{bc}	4.65±0.33^{abc}	4.86±0.42^{ab}	5.19±0.40^{a}	4.57±0.67^{bc}	4.18±0.91^{c}	0.016

净蛋白质利用率 NPU/%	30.95±3.21[bc]	31.53±2.17[abc]	33.43±3.09[ab]	35.37±2.71[a]	31.03±4.38[bc]	28.45±6.19[c]	0.011
蛋白质生物学价值 BV of protein/%	42.15±4.19[ab]	42.51±2.91[ab]	44.70±3.55[a]	46.74±3.25[a]	41.81±6.45[ab]	38.55±8.27[b]	0.036
蛋白质效率比 PER	1.83±0.16[Bbc]	1.83±0.14[Bbc]	2.05±0.11[Aa]	2.14±0.18[Aa]	1.88±0.11[Bb]	1.74±0.05[Bc]	＜0.001

3 讨 论

3.1 饲粮精氨酸添加水平对冬毛期雌性蓝狐生产性能的影响

食肉目动物的精氨酸体内合成能力较弱，需要通过摄入外源性精氨酸补充[13]。在对犬[14]、家猫[15]和水貂[16]等食肉目动物的研究中发现精氨酸可以促进动物生长，提高平均日增重，维持体内氮代谢稳定。本试验研究结果显示，基础饲粮中添加 0.2%、0.4%、0.6%和 0.8%精氨酸不同程度地使冬毛期雌性蓝狐平均日增重、体长和皮长有所提高，并使料重比降低，说明添加适量的精氨酸对蓝狐具有促生长作用。万春孟等[17]研究报道，干粉饲粮中添加精氨酸可以降低冬毛期水貂料重比。在小鼠[18]和仔猪[19]的研究中发现饲粮中添加精氨酸可以提高日增重。本试验结果与以上相关研究报道基本一致。饲粮中添加不同水平精氨酸对冬毛期蓝狐生产性能的改善作用存在一定差异，添加 0.6%水平精氨酸明显优于其他各组。毛皮动物皮张越大，皮张完整度越好，则其毛皮品质与经济价值越高[20]。由于本地改良品种蓝狐与芬兰原种蓝狐存在体型差异[21]，因此，当每只冬毛期雌性蓝狐每日每公斤体重精氨酸摄入量在 0.95~1.04 g 之间时其生产性能更优。

然而，精氨酸摄入过量可能影响赖氨酸等氨基酸的吸收和代谢[22]，造成氨基酸平衡破坏。Southern 等[23]研究表明，猪饲粮中过量添加精氨酸会使血浆中赖氨酸和组氨酸含量降低，且补充赖氨酸后无法缓解过量精氨酸对机体的不良影响，阻碍动物生产性能的发挥。基础饲粮中添加 1.0%精氨酸降低了冬毛期雌性蓝狐的平均日增重、体长和皮长，说明过量添加精氨酸并不利于蓝狐生产性能的发挥。

3.2　饲粮精氨酸添加水平对冬毛期雌性蓝狐营养物质消化率和氮代谢的影响

本研究表明，基础饲粮中添加精氨酸能够提高蓝狐干物质消化率。这可能是由于精氨酸具有改善肠道健康的作用，其具体表现为能够促进肠道形态发育，维持小肠绒毛形态结构[24]，提高消化酶活力[25]，提升肠道免疫屏蔽功能[26]，并减少肠道微生物易位几率[27]。因此，肠道保持健康状态更有利于对营养物质的吸收与利用，从而提高干物质消化率。

在本试验中研究发现，随着饲粮精氨酸添加水平的提高，冬毛期蓝狐脂肪消化率也随之不断提高。这可能与精氨酸的代谢产物一氧化氮参与脂质代谢存在联系。精氨酸是一氧化氮在体内合成的唯一前体物质，其在一氧化氮合酶作用下产生的一氧化氮对体内白色脂肪具有促分解作用[28]。Tan等[29]对 110 日龄育肥猪饲喂添加 1.0%精氨酸饲粮 60 d 后发现，育肥猪体脂肪水平降低。蓝狐进入冬毛期开始季节性大量储存脂肪以抵御寒冷，而精氨酸的摄入加速了体脂肪的代谢，促进了机体对脂肪的吸收，进而提高了脂肪消化率。精氨酸对脂肪酶活性的影响未见报道，因此饲粮中补充精氨酸是否提高蓝狐肠道内脂肪酶活性还有待进一步研究。

精氨酸在精氨酸酶的作用下水解为尿素和鸟氨酸，是尿素循环中的重要过程[30]。机体肝脏内的尿素循环可将多余的氨转换为尿素排出体外，避免氨对机体的毒害作用，维持体内氮平衡。本试验中，随着饲粮精氨酸添加水平的提高，蓝狐经由尿液排出的氮含量先下降后升高，氮沉积则是呈现先升高后降低的趋势，与平均日增重变化趋势接近。这可能是由于随着精氨酸添加水平接近适宜水平，饲粮氨基酸各组分构成逐步达到平衡，满足动物的需求；而饲粮中过量添加精氨酸则可能影响机体对营养物质的吸收利用，破坏体内氮平衡，从而对氮代谢产生干扰，造成 1.0%添加组尿氮和粪氮含量高于其他各组，降低氮沉积。

4　结　论

在本试验条件下，综合冬毛期蓝狐生产性能、营养物质消化率和氮代谢等各项指标，冬毛期雌性蓝狐饲粮中添加 0.6%精氨酸（饲粮总精氨酸水平为 2.04%）可提高平均日增重，降低料重比。

参考文献：

[1] WU G,FULLER W.BAZER,TERESA A.DAVIS,et al.Arginine metabolism and nutrition in growth, health and disease[J].Amino Acids,2009,37(1):153-168.

[2] MORRIS J G.Nutritional and metabolic responses to arginine deficiency in carnivores[J].The Journal of Nutrition,1985,115(4):524-531.

[3] 高秀华,杨福合,张铁涛,等.珍贵毛皮动物(水貂、蓝狐)营养需要研究进展[C]//动物营养研究进展,北京:中国农业科学出版社.2012:6.

[4] GAO K,JIANG Z,LIN Y,et al.Dietary *L*-arginine supplementation enhances placental growth and reproductive performance in sows[J].Amino Acids,2012,42(6):2207-2214.

[5] WU G,JAEGER L A,BAZER F W,et al.Arginine deficiency in preterm infants:biochemical mechanisms and nutritional implications[J].The Journal of Nutritional Biochemistry,2004,15(8):442-451.

[6] 杨慧,林登峰,王恬,等.饲粮中添加不同水平 *L*-精氨酸对妊娠母猪繁殖性能及血液生化指标的影响[J].动物营养学报,2012,24(10):2013-2020.

[7] GIANFRILLI D,LAURETTA R,DI DATO C,et al.Propionyl-*L*-carnitine, *L*-arginine and niacin in sexual medicine: a nutraceutical approach to erectile dysfunction[J].Andrologia,2012,44(s1):600-604.

[8] TAN B,LI XG,KONG X,et al.Dietary *L*-arginine supplementation enhances the immune status in early-weaned piglets[J].Amino Acids,2009,37(2):323-331.

[9] CZARNECKI GL,BAKER DH.Urea cycle function in the dog with emphasis on the role of arginine.[J].The Journal of Nutrition,1984;114(3):581-590.

[10] NRC.Nutrient requirements of mink and foxes[S].2nd ed.Washington,D.C.:National Academy Press,1982.

[11] 孙皓然,张铁涛,刘志,等.饲粮精氨酸水平对育成期雌性蓝狐生长性能、营养物质消化率、氮代谢及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2015,27(10):3285-3292.

[12] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007:48-49.

[13] LEOSCHKE W L.Nutrition and nutritional physiology of the mink: a historical perspective[M].Trafford on Demand Pub, 2011:128-130.

[14] CZARNECKI G L,HIRAKAWA D A,BAKER D H.Antagonism of arginine by excess dietary lysine in the growing dog[J].The Journal of Nutrition,1985,115(6):743-752.

[15] MORRIS J G,ROGERS Q R.Arginine: an essential amino acid for the cat.[J].Journal of Nutrition,1978,108(12):1944-1997.

[16] DAMGAARD B M.Effects of dietary supply of arginine on urinary orotic acid excretion, growth performance and blood parameters in growing mink(*Mustela vison*) kits fed low-protein diets[J].Acta Agriculturae Scandinavica,Section A:Animal Science,1998,48(2):113-121.

[17] 万春孟,张铁涛,吴学壮,等.饲粮 *L*-精氨酸添加水平对冬毛期水貂生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响[J].动物营养学报,2015,27(9):2963-2969.

[18] MARINI J C,AGARWAL U,DIDELIJA I C.Dietary Arginine Requirements for Growth Are Dependent on the Rate of Citrulline Production in Mice[J].The Journal of Nutrition,2015,145(6):1227-1231.

[20] 张伟,徐艳春,华彦.毛皮学[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,2011:132-134.

[21] 赵克学,刘茂娟,陈德霞,等.蓝狐及其杂交改良效果分析[J].山东畜牧兽医,2012,32(10):72.

[22] WU G.Amino acids: metabolism, functions and nutrition[J].Amino Acids,2009,37(1):1-17.

[23] SOUTHERN L L,BAKER D H.Performance and concentration of amino acids in plasma and urine of young pigs fed diets with excesses of either arginine or lysine[J].Journal of Animal Science,1982,55(4):857-866.

[24] YAO K,GUAN S,LI T,et al.Dietary *L*-arginine supplementation enhances intestinal development and expression of vascular endothelial growth factor in weanling piglets[J].British Journal of Nutrition,2011,105(5):703-709.

[25] 黄晶晶,刘玉兰,朱惠玲,等.*L*-精氨酸对脂多糖刺激的断奶仔猪肠道损伤的缓解作用[J].畜牧兽医

学报,2007,38(12):1323-1328.

[26] REN W,CHEN S,YIN J,et al.Dietary arginine supplementation of mice alters the microbial population and activates intestinal innate immunity[J].The Journal of Nutrition,2014,144(6):988-995.

[27] 宋维亮,王俊义,张雷华,等.精氨酸增强 TPN 与常规 TPN 对大鼠肠道细菌易位影响的比较研究[J].肠外与肠内营养,1996,3(1):29-31.

[28] JOBGEN W,MEININGER C J,JOBGEN S C,et al.Dietary *L*-arginine supplementation reduces white fat gain and enhances skeletal muscle and brown fat masses in diet-induced obese rats[J].Journal of Nutrition,2009,139(2):230-237.

[29] TAN B,YIN Y,LIU Z,et al.Dietary *L*-arginine supplementation increases muscle gain and reduces body fat mass in growing-finishing pigs[J].Amino Acids,2009,37(1):169-175.

[30] STUEHR D J.Enzymes of the *L*-arginine to nitric oxide pathway[J].The Journal of Nutrition,2004,134(10):2748S-2751S.

Effects of Dietary Arginine Supplemental Level on Performance, Nutrient Digestibility and Nitrogen Metabolism of Female Blue Foxes during Fur Development Period

SUN Haoran[1] ZHANG Tietao[1] WANG Xiaoxu[1] LIU Zhi[2] FAN Yanyan[1] ZHANG Ting[1] LI Guangyu[1*]

(1. *State Key Laboratory of Special Economic Animal Molecular Biology*, *Institute of Special Animal and Plant Sciences*, *Chinese Academy of Agriculture Sciences*, *Changchun* 130112, *China*; 2. *Institute of Feed Research*, *Chinese Academy of Agriculture Sciences*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary arginine supplemental level on performance, nutrient digestibility and nitrogen metabolism of female blue foxes in fur development period. Sixty female blue foxes aged 120 days with similar body weight were randomly divided into 6

groups with 10 replicates per group and 1 fox per replicate. Six groups were fed basic diets supplemented with 0 (group Ⅰ), 0.2% (group Ⅱ), 0.4% (group Ⅲ), 0.6% (group Ⅳ), 0.8% (group Ⅴ) and 1.0% (group Ⅵ) arginine, respectively. The pretest period lasted for 7 days and the trial period lasted for 80 days. The results showed as follows: 1) the average daily gain of blue foxes in group Ⅳ was significantly higher than that in other groups (P<0.01), the body length and fur length in group Ⅳ were increased 1.42% and 1.26% compared with group Ⅰ（P>0.05）, the feed to gain in group Ⅳ was significantly lower than that in group Ⅰ (P<0.01). The average daily feed intake of blue foxes in group Ⅲ was significantly lower than that in group Ⅰ (P<0.05). 2） Dietary arginine supplemental level had significant effects on fat digestibility of blue foxes （P<0.01）, the fat digestibility was increased with the increasing of dietary supplemental level. The dry matter digestibility in group Ⅳ was significantly higher than that in groups Ⅰ, Ⅱ and Ⅲ（P<0.01）. Dietary arginine supplemental level had no effects on protein digestibility and carbohydrate digestibility (P>0.05). 3） The nitrogen intake of blue foxes in group Ⅲ was significantly lower than that in other groups except group Ⅳ (P<0.05). The content of fecal nitrogen and urea nitrogen in group Ⅳ was the lowest, however, the nitrogen retention, net protein utilization, biological value of protein and protein efficiency ratio in group Ⅳ were the highest. It is included that dietary supplemented with 0.6% arginine (dietary total arginine level is 2.04%) can promote average daily gain and reduce feed to gain for female blue foxes during fur development period.

Key words: arginine; blue fox; fur development period; performance; nutrient digestibility; nitrogen metabolism

---

*Corresponding author, professor, E-mail: tcslgy@126.com （责任编辑 武海龙）